



## SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA DE UM TRECHO DA BACIA DO RIO JAGUARIZINHO COM HORARIZAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA

*Carlos Henrique Pereira Assunção Galdino<sup>1\*</sup> & Fernando Mainardi Fan<sup>2</sup> & Guilherme Fernandes Marques<sup>3</sup>*

**Resumo** – É comum, quando se necessita realizar estudos hidrológicos em pequenas bacias rurais de cabeceira, deparar-se com escassez de postos de monitoramento ou, até mesmo, com a inexistência de dados. A grande maioria dos postos de monitoramento de chuva existentes no Brasil possui tempo de medição diário (i.e., por meio de pluviômetros). Porém, quando a bacia em estudo possui tempo de concentração inferior a um dia, faz-se necessária a utilização de dados horários. Este trabalho mostra uma forma de distribuir a chuva diária em hora utilizando a distribuição da chuva horária do posto mais próximo à bacia em estudo. Os resultados obtidos, de 0,64 e 0,39 para os coeficientes NS e INV, respectivamente, mostram que a calibração do modelo utilizando as chuvas “horarizadas” é capaz de capturar as oscilações naturais da vazão do rio. O presente estudo serve de portfólio de técnicas a serem utilizadas em bacias com escassez de dados horários.

**Palavras-Chave** – simulação hidrológica; precipitação horária.

## HYDROLOGICAL SIMULATION OF A SECTION OF THE JAGUARIZINHO RIVER BASIN WITH TRANSFORMATION OF DAILY PRECIPITATION IN HOURS

**Abstract** – When hydrological studies are required in small rural bedside basins, there is often a shortage of monitoring stations or even lack of data. The vast majority of rainfall monitoring stations in Brazil have daily measurement time (i.e., through rain gauges). However, when the basin under study has a concentration time of less than one day, it is necessary to use hourly data. This work shows a way to distribute the daily rain in hours using the distribution of the hourly rainfall of the station closest to the basin under study. The results obtained, of 0.64 and 0.39 for the NS and INV coefficients, respectively, show that the calibration of the model using the "horarized" rainfall is able to capture the natural oscillations of the river flow. The present study serves as a portfolio of techniques to be used in basins with shortage of hourly data.

**Keywords** – hydrological simulation; hourly rainfall.

## INTRODUÇÃO

Um princípio básico da gestão é o conhecimento daquilo que se deseja gerir. Na gestão de recursos hídricos não é diferente. Para que o gerenciamento ocorra de forma consciente e dinâmica, faz-se necessário o conhecimento prévio das características hidrológica da região. A vazão, neve, precipitação, evaporação, umidade do solo, são exemplos de variáveis que são utilizadas para descrever o estado hidrológico de uma bacia (Tucci, 2013). Uma das variáveis mais utilizadas pelos comitês de bacia no Brasil é a vazão. Sendo de fundamental importância o conhecimento das características da vazão para a análise do comportamento dos cursos d'água, para os cálculos de dimensionamento de obras hidráulicas, vazão de projetos, outorgas, navegação e outros usos.

<sup>1</sup> \*Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH/UFRGS, e-mail: [chpag2003@gmail.com](mailto:chpag2003@gmail.com).

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: [fernando.fan@ufrgs.br](mailto:fernando.fan@ufrgs.br)

<sup>3</sup> Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: [guilherme.marques@ufrgs.br](mailto:guilherme.marques@ufrgs.br)

É comum quando necessita-se realizar estudos hidrológicos em pequenas bacias rurais de cabeceira, deparar-se com escassez de postos de monitoramento de vazão, ou até mesmo a inexistência de dados. Para contornar esse problema, uma opção é a utilização de dados de chuva para obter os dados de vazão, utilizando modelos matemáticos que fazem a transformação da chuva em vazão (Damé *et al.* 2007, Tucci 2005). A grande maioria dos postos de monitoramento de chuva existentes no Brasil possuem tempo de medição diário (pluviômetros). Porém, quando a bacia em estudo possui tempo de concentração inferior a um dia, faz-se necessária a utilização de dados horários.

Este artigo demonstra uma forma de abordar o problema de simulação, especialmente quando se faz necessária a utilização de informação chuva horária, quando se dispõe apenas de dados diários.

## ESTUDO DE CASO E DADOS UTILIZADOS

O estudo foi realizado em um trecho da bacia do rio Jaguarizinho, situado no estado do Rio Grande do Sul, com uma área de abrangência de aproximadamente 928,15 km<sup>2</sup>, compreendida nas cidades Capão do Cipó, Santiago e Jaguari (Figura 1). Constitui uma bacia rural, com baixa área impermeável, com rio principal de aproximadamente 75,2 km.

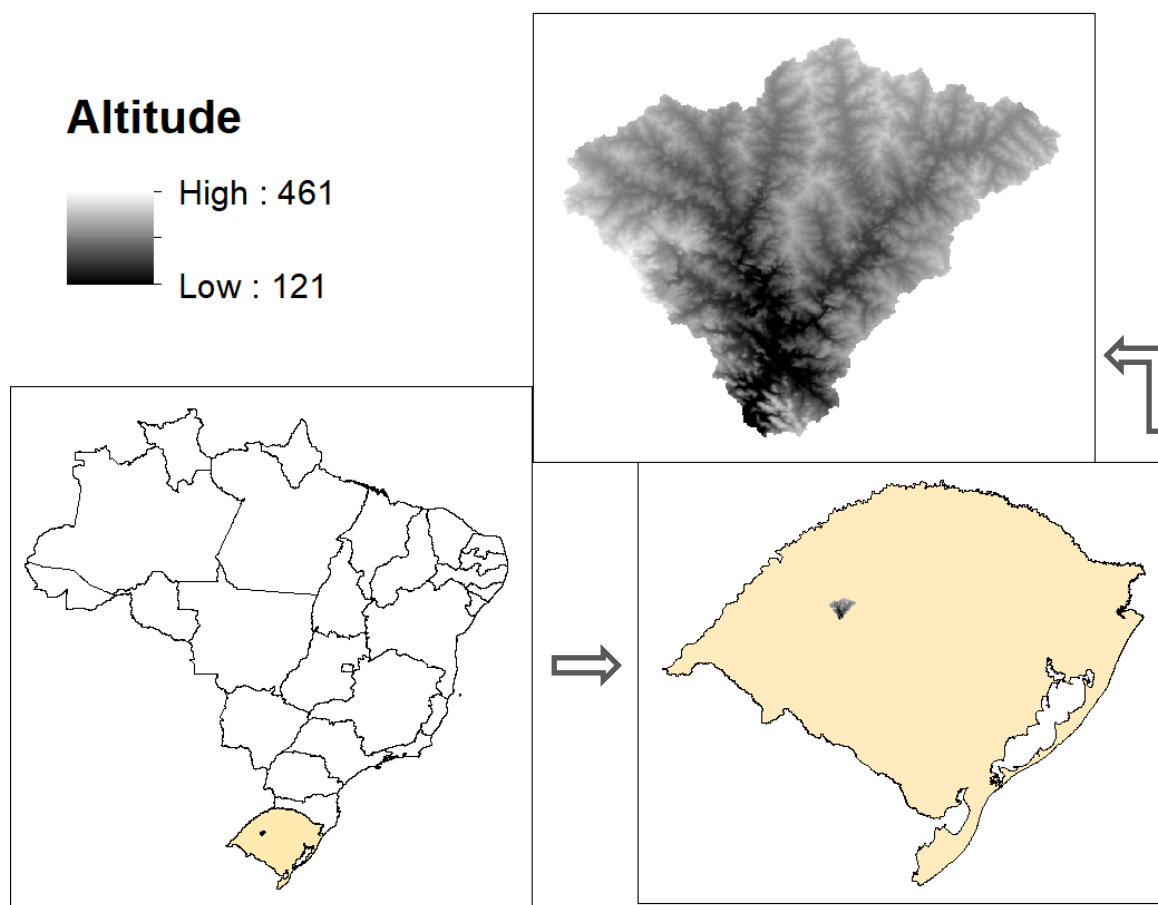


Figura 1 – Localização do trecho da bacia do rio Jaguarizinho

Os dados disponíveis para a bacia possuem medição diária (postos pluviométricos e fluviométricos). Utilizando a equação de Kirpich para calcular o tempo de concentração, obteve-se o

resultado de 16,45 min. Isso resultou em um problema, pois o tempo de concentração da bacia é inferior a 24 h (mediação dos postos pluviométricos). Para solucionar o problema de passo de tempo de simulação maior que o tempo de concentração, foram adquiridos junto ao Inmet dados de precipitação horária da cidade de Santa Maria, visando uma simulação horária. Este é o posto horário mais próximo a bacia em estudo, a uma distância de 104,39 km do centro da bacia, com altitude de 95 m (centro da bacia  $\approx$  300 m), resultando em um desnível de 205 m. Os postos utilizados neste estudo encontram-se nas Tabelas 1 e 2. A caracterização da área de estudo foi realizada com uma imagem de radar SRTM, com coordenadas central latitude 24,50 S e longitude 52,50 W (CGIAR, 2017).

Tabela 1. Pluviômetro e pluviógrafos utilizados

	Código	Nome do posto	Município	Tipo	Período de observação
P1	2954004	Ernesto Alves	Santiago	Pluviômetro	2001 - 2004
P2	2954020	Santiago	Santiago	Pluviômetro	2001 - 2004
P3	2954030	Florida	Santiago	Pluviômetro	2001 - 2004
P4	2954031	Esquinados Lima	Capão do Cipó	Pluviômetro	2001 - 2004
P5	86977	Santa Maria-A803	Santa Maria	Pluviógrafo	2001 - 2004

Tabela 2. Postos fluviométricos utilizados

Código	Nome do posto	Município	Período de observação
76460000	Ernesto Alves	Santiago	2001 - 2004

## METODOLOGIA

A metodologia do trabalho consiste em utilizar um modelo hidrológico concentrado chuva-vazão, no modo simulação, com duas fontes de dados: 1) com dados observados horários de um posto próximo a bacia em estudo; 2) com dados chamados de “horarizados” (diário distribuído nas 24 horas do dia) da própria bacia. Os resultados das duas simulações são posteriormente avaliados pelas funções objetivos, para avaliar se a metodologia, de horarizar os dados diários, obteve resultados satisfatórios.

### Modelo IPH II

Para este estudo foi utilizado o programa WIN\_IPH2. O IPH II é um modelo hidrológico chuva-vazão, do tipo concentrado, desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O programa WIN\_IPH2 (Bravo *et al.* 2006a) foi desenvolvido para acoplar as versões do modelo IPH II para a simulação de séries contínuas e eventos isolados.

### Funções-objetivo utilizadas

Uma maneira de avaliar o desempenho na calibração de modelos hidrológicos é utilizando funções-objetivo (FO) que, tipicamente, representam uma medida quantitativa estimada a partir da diferença numérica (erro) entre os resultados do modelo (hidrogramas) e os valores observados. Nesse contexto, a finalidade da calibração automática consiste em encontrar os valores dos parâmetros que otimizam (maximizam ou minimizam) as funções-objetivo (Bravo *et al.* 2007).

Neste trabalho foram utilizadas duas funções-objetivo: o desvio padrão das inversas das vazões (Equação 1), que tende a priorizar as vazões mínimas; e o coeficiente de Nash e Sutcliffe (Equação 2), que tende a priorizar as vazões médias e máximas.

$$FO1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{NT} \left( \frac{1}{Q_{oi}} - \frac{1}{Q_{ci}} \right)^2}{NT}} \quad (1)$$

$$FO2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{NT} (Q_{oi} - Q_{ci})^2}{\sum_{i=1}^{NT} (Q_{oi} - Q_m)^2} \quad (2)$$

sendo:  $Q_{oi}$  é o valor de vazão observada no intervalo de tempo  $i$ ,  $Q_{ci}$  é o valor de vazão calculada no intervalo de tempo  $i$ ,  $NT$  é o número de intervalos de tempo da série analisada e  $Q_m$  é a vazão média da série.

### “Horarização” da chuva diária

A metodologia proposta para “horarizar” a chuva diária consiste em acertar a distribuição da diária com a medição horária do posto mais próximo. Espera-se que quanto mais próximo os postos estejam, melhor as estatísticas de correlação. Os passos seguidos foram:

1. Acumular os dados horários, para cada dia, do posto horário mais próximo;
2. Comparar as estatísticas básicas das séries diárias e horária acumulada diariamente;
3. Transformar a distribuição horária em percentagem de chuva por hora (posto horário);
4. Distribuir a série diária, pelas percentagens horárias do posto horário;

É comum encontrar dias em que choveu em um posto, e no outro não. Para solucionar esse problema, foi calculada a média horária para todos os dias de cada mês da série horária (ex.: média horária do dia 10 de janeiro para todos os anos observados). Assim, caso um determinado dia do ano possua chuva (no posto a ser discretizado) e no posto série horária não, usa-se a média horária (utilizando todos os dias) daquele determinado mês. Se o problema persistir, utiliza-se a média horária mensal para o referido mês.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os quatro postos (chuva diária) selecionados da bacia do rio Jaguarizinho, foi utilizado o método dos Polígonos de Thiessen para calcular a chuva média na bacia em estudo. Resultando em:

$$P_{\text{médio}} (\text{mm}) = P1 * 0,132 + P2 * 0,307 + P3 * 0,270 + P4 * 0,291 \quad (3)$$

Utilizando o programa estatístico R e RStudio, na versão v.3.4.0 e v.1.0.143, respectivamente, foram calculadas as estatísticas da chuva média e da chuva horária acumulada diariamente do posto vizinho. Os resultados encontram-se na Tabela 3, onde pode-se perceber que as características das séries são bem diferentes. No gráfico (Figura 2) fica evidente que existe algum erro de medição no posto horário, com medições bem abaixo do posto diário. A partir do registro 667 (23/09/2003), o posto horário começa a apresentar valores compatíveis com o posto diário. Pode-se perceber que, a partir desse ponto, os gráficos começam a mostrar características semelhantes.

As estatísticas foram recalculadas para o intervalo compreendido entre 23/09/2003 a 31/10/2004. Os resultados encontram-se na Tabela 3, onde pode-se perceber que existe maior semelhança entre os resultados. Na Figura 3, verifica-se que mesmo com a redução de pontos discrepantes, a correlação permanece ruim variando de a) 0,12 para b) 0,23.

Foi realizada a subtração dos dados de chuva média diária - chuva horária acumulada (Santa Maria), para avaliar o quão distantes os dados encontram-se. Os resultados podem ser analisados pela

Figura 4, onde percebe que em alguns pontos existem diferenças que variam entre -150 mm a 100 mm. Porém, na maior parte do tempo, os resultados não diferem de forma a prejudicar a metodologia proposta.

Tabela 3. Estatística das séries de chuva

	26/11/2001 a 31/10/2004		23/09/2003 a 31/10/2004	
	Média diária	Horária acumulada	Média diária	Horária acumulada
1º Quantil	0	0	0	0
Mediana	0	0	0	0
Média	5,23	1,73	3,96	4,03
3º Quantil	3,84	0,20	1,78	1,40
Máximo	106,94	146,00	106,94	146,00
Soma	5.597,04	1.856,40	1.601,92	1.636,00
Variância	148,43	78,29	124,93	194,16
Desvio Padrão	12,18	8,85	11,78	13,93

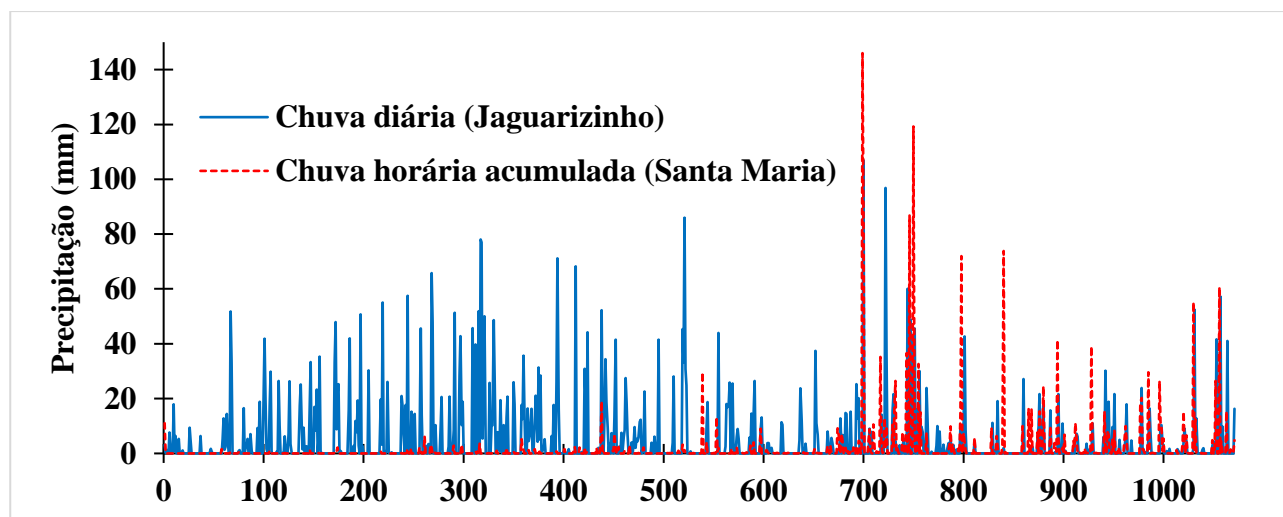


Figura 2 – Gráfico das séries de chuva no período entre 26/11/2001 a 31/10/2004

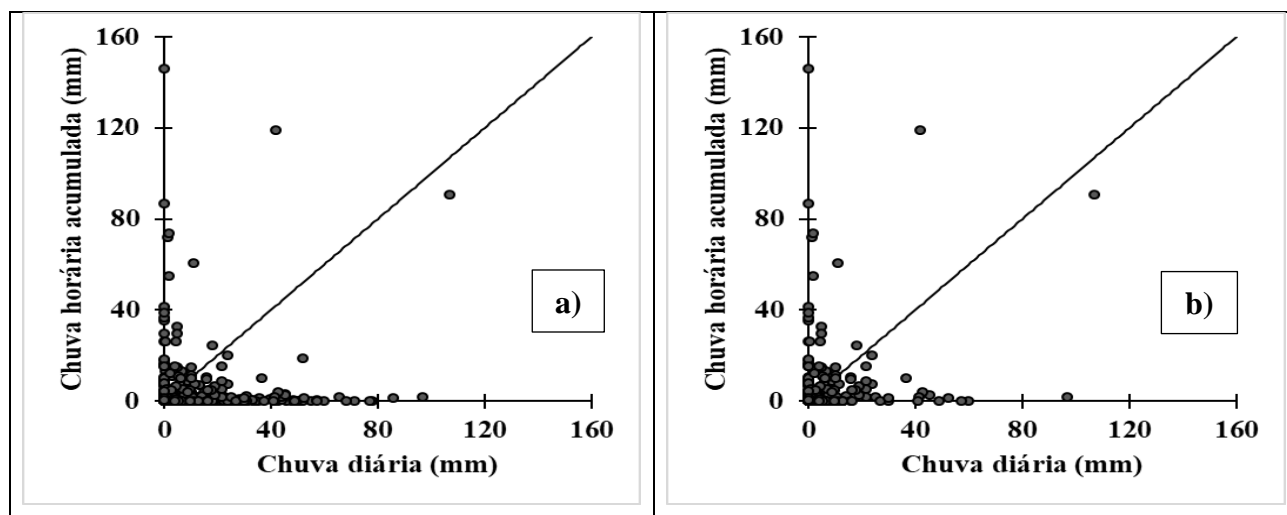


Figura 3 – Gráfico de dispersão: a) de 26/11/2001 a 31/10/2004; e b) de 23/09/2003 a 31/10/2004

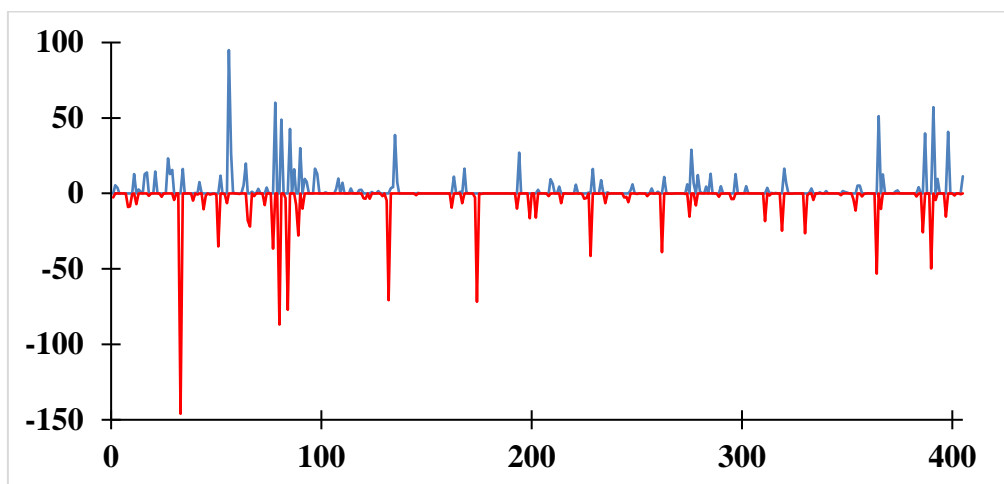


Figura 4 – Gráfico da diferenciação entre a chuva média diária da bacia do rio Jaguarizinho e a chuva horária acumulada diariamente da estação de Santa Maria-RS

Os gráficos da Figura 5, exemplificam o comportamento da chuva horária para o mês de janeiro e média anual para cada dia do ano (de 1 a 31). A chuva média diária foi distribuída horariamente, seguindo as características do posto de Santa Maria-RS.

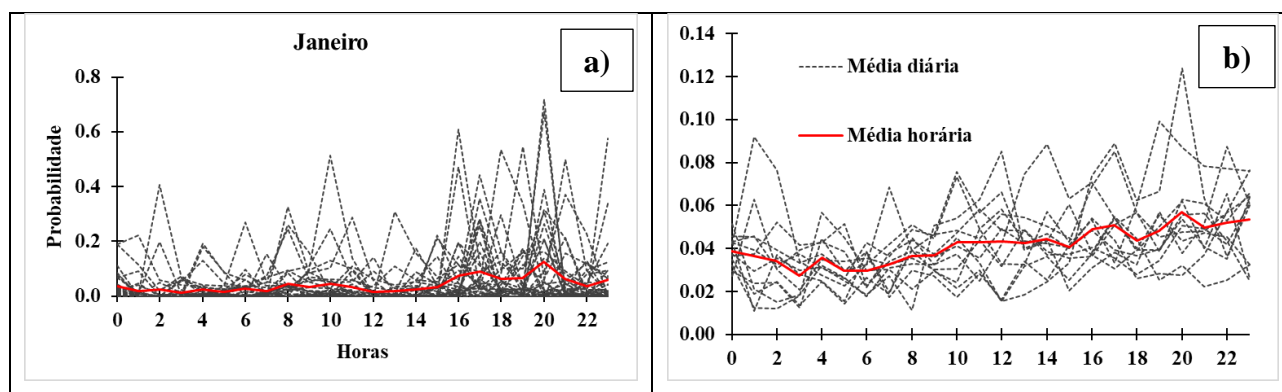


Figura 5 – Gráfico de distribuição horária: a) janeiro; e b) média anual para todos os meses do ano dos 31 dias

Como os dados do posto fluviométrico de vazão possuem medição diária, e a resposta do modelo horária, haja vista que a chuva utilizada nas simulações foi horária, foi necessário a realização de uma média diária dos resultados da simulação para ir calibrando o modelo manualmente. A primeira calibração foi realizada utilizando a chuva horária do posto de Santa Maria, para avaliar se os parâmetros do modelo eram capazes de ajustar a simulação, compensando as diferenças hidrológicas das regiões. O resultado da calibração encontra-se disposta na Figura 6, onde verifica-se que apesar da simulação contemplar o maior evento de cheia, o ajuste não foi muito bom, não acompanhando as oscilações naturais da vazão do rio. O melhor ajuste obteve os valores de 0,52 e 0,48, para os coeficientes de Nash e Sutcliffe (NS) e o desvio padrão das inversas das vazões (INV), respectivamente.

A segunda calibração foi realizada utilizando a chuva média da bacia em estudo com os valores “horarizados”. Os resultados encontram-se no gráfico da Figura 7, onde pode-se perceber que houve um melhor ajuste das curvas. Nota-se que a simulação acompanhou melhor as oscilações, principalmente para picos, porém no intervalo entre as observações 140 a 320, verifica-se que a



simulação acentuou os valores picos, não conseguindo representar muito bem o intervalo de vazões baixas. A calibração obteve os valores de 0,64 e 0,39, para os coeficientes NS e INV, respectivamente.

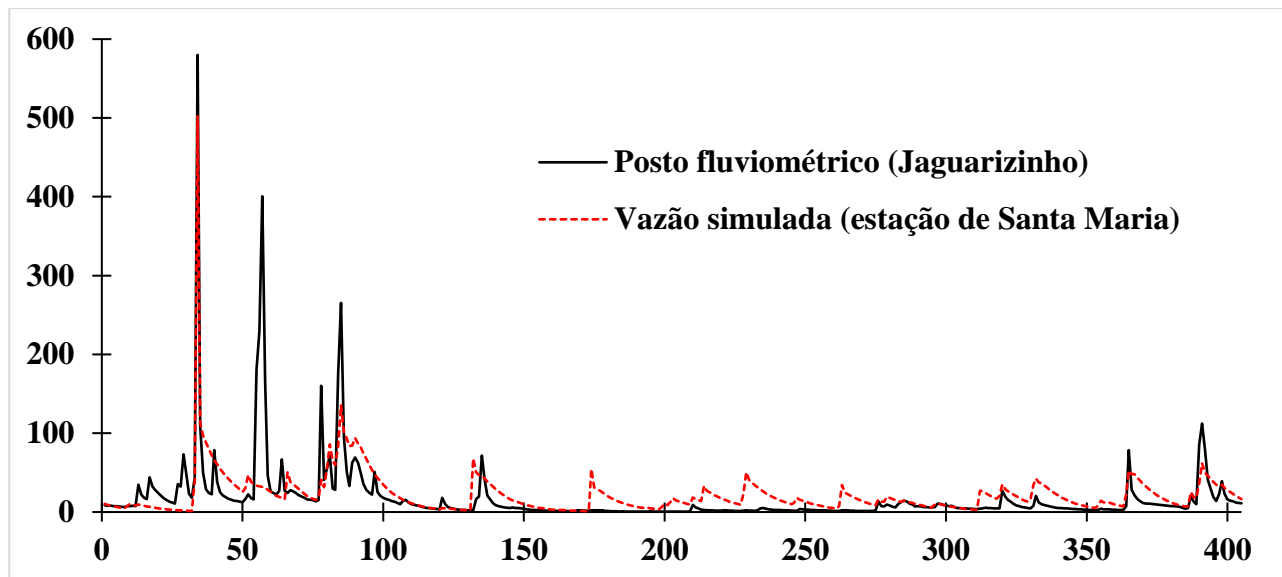


Figura 6 – Gráfico da calibração utilizando chuva horária da estação de Santa Maria-RS

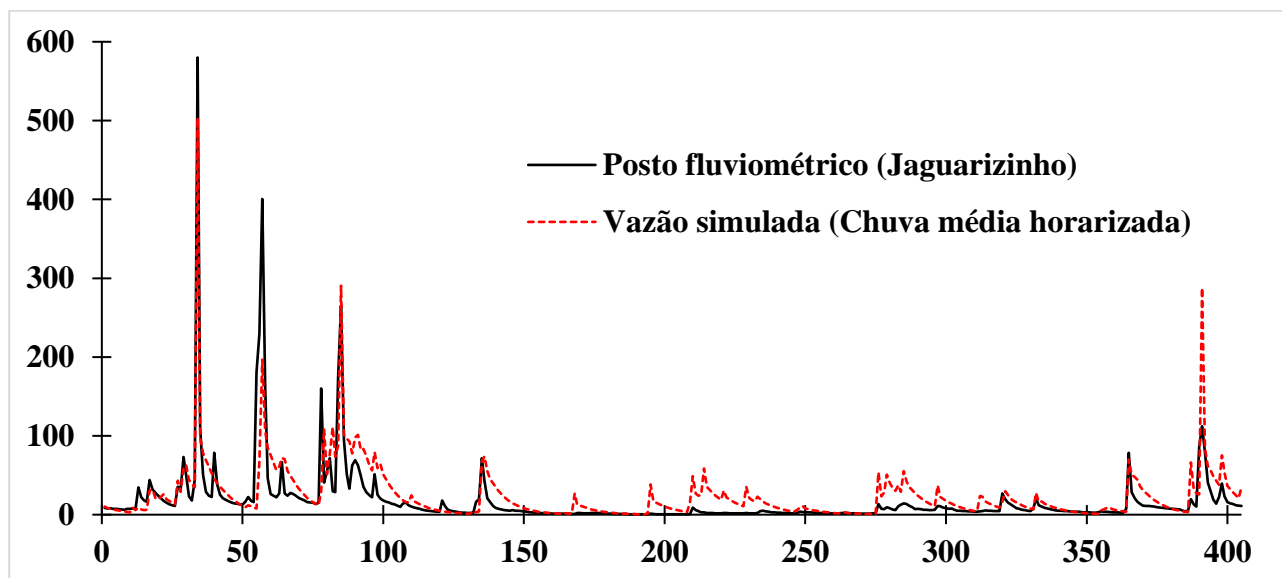


Figura 7 – Gráfico da calibração utilizando chuva média da bacia do rio Jaguarizinho (dados horarizados)

## CONCLUSÕES

Este trabalho possui algumas fragilidades em relação a sua metodologia, pois visa distribuir a chuva diária, que é um evento aleatório, influenciado por vários fatores naturais tais como o vento, clima, orografia, humidade e outros elementos. Porém, constitui uma tentativa de fornecer dados para realização de simulações horárias mais coerentes, pois em alguns casos não é possível a utilização dos dados diários, como o estudo de caso mostrou. Essa metodologia foi pensada para postos próximos, com regiões que possuem características semelhantes. Caso contrário, não é aconselhada

a sua utilização, pois a chuva é uma variável que varia espacialmente e temporalmente. Entretanto, quando não se possui dados horário, essa pode ser a uma alternativa para viabilizar o estudo.

Os resultados mostraram que a calibração do modelo utilizando a chuva média “horarizada” da bacia em estudo, apresentou melhores resultados em termos de picos de vazão do que a calibração usando os dados do posto horário mais próximo. Reforçando a proposta do trabalho, que consiste horarizar os dados da bacia em estudo.

Não se deve esquecer que estudo foi realizado para uma bacia na qual a simulação no trecho indicado não possuía dados viabilizassem o trabalho. Assim sendo, o teste realizado para distribuir a chuva diária em intervalos horários, pode ser considerado mais um estudo que pode servir de portfólio de técnicas a serem utilizadas em bacias com problema semelhante.

## REFERÊNCIAS

BRAVO, J. M.; ALASSIA, G. G. P.; COLLISCHONN, W.; TASSI, R.; MELLER, A.; TUCCI, C. E. M. (2006a) Manual de Usuário do WIN\_IPH2. Versão 1.0 Editora: Rutinéia Tassi, Porto Alegre, 62 pg.

BRAVO, J. M.; PICCILLI, D. G. A.; COLLISCHONN, W.; TASSI, R.; MELLER, A.; TUCCI, C. E. M. (2007) “Avaliação Visual e Numérica da Calibração do Modelo Hidrológico IPH II com Fins Educacionais” in *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, São Paulo.

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; LORENSI, R. P. (2007). Simulação de precipitação com duração horária mediante o uso do modelo bartlett-lewis do pulso retangular modificado. *R. Bras. Agrobiência, Pelotas*, v.13, n.1, p.13-18, jan-mar, 2007.

TUCCI, C.E.M. (2013). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Quarta Edição. ABRH: Porto Alegre. 943pg.

TUCCI, C.E.M. (2005). *Modelos Hidrológicos*. Segunda Edição. ABRH: Porto Alegre. 678pg.